

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 82108802.8

51 Int. Cl.<sup>3</sup>: G 05 F 1/20

22 Anmeldetag: 23.09.82

30 Priorität: 24.10.81 DE 3142269

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
 18.05.83 Patentblatt 83/20

64 Benannte Vertragsstaaten:  
 AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE

71 Anmelder: Thyssen Industrie AG  
 Am Thyssenhaus 1  
 D-4300 Essen(DE)

72 Erfinder: Hienz, Georg, Dipl.-Ing.  
 Haderunstrasse 21  
 D-8000 München 70(DE)

72 Erfinder: Opredek, Bernhard, Dr. Ing.  
 Neubeuernerstrasse 8  
 D-8000 München 21(DE)

74 Vertreter: Siebert, Grättinger & Bockhorni  
 Postfach 1649 Almedaweg 35  
 D-8130 Starnberg (München)(DE)

64 Stelltransformator.

57 Bei einem Stelltransformator mit elektronischer Steuerung und einer Mehrzahl von Wicklungen, die jeweils über Halbleiterschalter an gemeinsame Stromschienen angeschlossen sind, wird der Sekundärkreis des Transformator- teils durch die genannten Wicklungen gebildet, so daß der Transformator eine erhöhte Anzahl von Zwischenphasen erzeugt. Diese sind direkt mit Halbleiterschaltern einzeln mit einer der jeweils gewünschten Anzahl der Ausgangsphasen gleichen Anzahl von Stromschienen verbunden. Die Regelung der Spannung, Phasenlage und Frequenz wird durch Ansteuerung der Halbleiterschalter mittels Dauerimpulsen oder mittels zur Netzfrequenz synchroner oder asynchroner Steuer- bzw. Schaltimpulse erreicht.

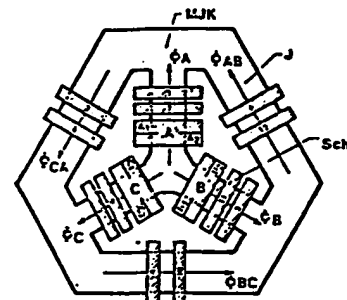


Fig.-2-

### Stelltransformator

Die Erfindung bezieht sich auf einen Stelltransformator mit elektronischer Steuerung und einer Mehrzahl von Wicklungen, die jeweils über Halbleiterschalter ( $S_{1a} \dots S_{np}$ ) an gemeinsame Stromschienen ( $S_{sa} \dots S_{sp}$ ) angeschlossen sind.

- 5 Ein Stelltransformator mit elektronischer Steuerung wird in DP-AS-2609 697 beschrieben. Durch Halbleiterschalter und durch eine aufwendige Kern- und Wicklungsausführung wird dabei eine annähernd stufenlose Steuerung der Ausgangsspannung erreicht.

- 10 Transformatoren, die nur die Stufensteuerung der Phasenlage erlauben, sind als "Längs- und Quertransformatoren" in - Bödefeld/Sequenz - Elektrische Maschinen - Springer Verlag Wien-New York, 1971 - Abschnitt 1.5.3/S. 86 - beschrieben. Ferner sind Drehfeldtransformatoren - (Bödefeld/Sequenz - Elektrische Maschinen - Springer-Verlag Wien - New York, 1971 - Abschnitt 3.9/S. 297) bekannt,
- 15 die ähnlich einer rotierenden Maschine ausgeführt sind und die durch das Verdrehen des festliegenden Läufers eine kontinuierliche Steuerung der Phasenlage erlauben. Transformatoren zur Änderung der Anzahl der Ausgangspahsen sind als Stromrichter-Transformatoren oder als Drehfeld-Transformatoren mit Phasenzahlumformung bekannt
- 20 (Bödefeld/Sequenz - Elektrische Maschinen - 1971, Abschnitt 1.5.4/S. 89 und Abschnitt 3.12.1/S. 312). Diese erlauben das Erreichen einer einzigen, durch die aufwendige Kern- und Wicklungsausführung festgelegten Phasenzahl.

Ferner sind Transformatoren zur statischen Frequenzumformung bekannt, die mit ungünstigem Wirkungsgrad und Leistungsfaktor eine Verdoppelung oder Verdreifachung der Eingangsfrequenz erlauben (Bödefeld/Sequenz - Elektrische Maschinen - Abschnitt 1.6./S. 94). Statische Frequenzumformer, die aus einem separaten Transformator und einem separaten Thyristor-Frequenzumrichter bestehen, sind in "K.Heumann - Leistungselektronik - Verlag Teubner Stuttgart 1975, Abschnitt 7.2.2. und Abschnitt 8.3" beschrieben.

Gemäß DP-AS-27 07 169 ist eine Lösung, die nur zur Frequenzumrichtung dient, vorgezeigt, bestehend aus einem separaten Transformator mit mehreren in Stern und Dreieck geschalteten Sekundärwicklungen und mit mehreren separaten steuerbar ausgeführten Thyristor-Drehstrombrückenschaltungen.

Sämtliche angeführte Lösungen erlauben nur das Aussteuern eines Parameters oder bestehen aus getrennten aufwendigen Bauteilen und können nicht sämtliche Ausgangsgrößen einzeln oder gemeinsam, beliebig steuern.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen kompakten Stelltransformator mit elektronischer Steuerung zu schaffen, zu annähernd stufenloser, einzelner oder gemeinsamer Regelung, auch unter Last, von Spannung, Phasenlage und Frequenz und zur Erreichung einer, von den Sekundärwicklungen annähernd unabhängigen, beliebigen Ausgangsphasenzahl.

- Diese Aufgabe wird nach dem Vorschlag der Erfindung dadurch gelöst, daß der Transformator durch seine Sekundärwicklungen eine erhöhte Anzahl von Zwischenphasen erzeugt. Diese sind direkt mit Halbleiterschaltern einzeln mit jeder der gewünschten Ausgangsphasen
- 5 gleichen Anzahl von Stromschienen verbunden. Durch die bauliche Vereinigung werden als Starkstromanschlüsse nur die primären und sekundären Starkstrom-Hauptanschlüsse durch das Gehäuse nach außen geführt. Die Halbleiterschalter sind einzeln ansteuerbare Triacs, antiparallele Thyristoren oder Leistungstransistoren, die ent-
- 10 sprechend natürlich oder zwangskommutiert werden. Die gewünschte Regelung der Spannung, Phasenlage und Frequenz wird durch die Ansteuerung der Halbleiterschalter mittels Dauerimpulsen oder mittels der Netzfrequenz synchronen oder asynchronen Steuer- bzw. Schaltimpulsen erreicht.
- 15 Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.
- Gegenüber den angeführten, bekannten Geräten bildet der erfindungs- gemäße Stelltransformator eine einfache, kompakte Baueinheit mit der kleinstmöglichen Anzahl aus dem Gehäuse ausgeführten Stark-
- 20 strom-Hauptanschlüssen und erlaubt nicht nur das Erreichen einer beliebigen Anzahl von Ausgangsphasen, sondern auch bei gutem Wirkungsgrad und Leistungsfaktor, eine annähernd stufenlose Steuerung einzeln oder gemeinsam, von Spannung, Phasenlage und Frequenz.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele und Wirkungsweise der Erfindung an Hand der Zeichnungen beschrieben. Es zeigt:

- Fig. 1 das Gesamtschaltbild des Stelltransformators;
- Fig. 2 eine Ausführung des Transformators mit einem Manteljoch-
- 5 kern;
- Fig. 3 eine Ausführung als Drehfeldtransformator
- Fig. 4 eine Ausführung als Dreischenkel-Kerntransformator
- Fig. 5 die Sekundärschaltung (5.a) und das dazugehörige Stern-
- Zeigerdiagramm (5b);
- 10 Fig. 6 die Polygon-Sekundärschaltung (6a) und das dazugehörige Zeigerdiagramm (6b);
- Fig. 7 die Primärschaltung als Parallel- (7a) oder als Reihenschaltung (7b)
- Fig. 8 das Zeigerdiagramm bei Spannungssteuerung;
- 15 Fig. 9 das Zeigerdiagramm bei Phasenlagesteuerung
- Fig. 10 das Zeigerdiagramm bei Frequenzsteuerung der Phasenspannung;
- Fig. 11 das zu Fig. 10 gehörige Verhältnis der Frequenzen und
- Fig. 12 das Zeigerdiagramm bei gemeinsamer Frequenz- und Amplitudensteuerung der verketteten Spannung.
  
- 20 In Fig. 1 ist das Gesamtschaltbild des Stelltransformators ST zu sehen. Durch das Gehäuse G sind nur die  $m_1$  Eingangsphasen mit ihren Starkstromanschlüssen A, B, C, (o), und die  $m_2$  Ausgangsphasen mit ihren Starkstromanschlüssen a, b,...p,(o) ausgeführt.
- Jede Primärphase AX, BY, CZ des Transformatorteils T ist in Einzel-
- 25 wicklungen unterteilt  $A_1, A_2, \dots, B_1, B_2, \dots$  und mittels der Halbleiterschalter  $S_{A11}, S_{A12}, S_{A21}, S_{A22}, S_{B11}, \dots, S_{B22}, S_{C11}, \dots, S_{C22}$  in parallel oder mittels der Halbleiterschalter  $S_{Ao}, S_{Bo}, S_{Co}$  in Reihe an die primären Stromschienen  $S_{sA}, S_{sA}, S_{sB}, S_{sB}, S_{sC}, S_{sC}$ , angeschlossen.
- Die Sekundärwicklungen bilden eine Anzahl n von Zwischenphasen, wobei
- 30 jeder Strang 11', 22', ..., j, 'nn' mittels seiner Halbleiterschalter  $S_{1a}, S_{1b}, \dots, S_{1p}, S_{2a}, \dots, S_{2p}, S_{jk}, S_{na}, \dots, S_{np}$  an jede der Ausgangsphasenanzahl  $m_2$  entsprechenden Stromschienen  $S_{sa}, S_{sb}, \dots, S_{sk}, \dots, S_{sp}$  angeschlossen ist.
  
- In Fig. 2 ist ein Ausführungsbeispiel für einen Transformator gegeben,
- 35 der zur Verminderung des Oberwellengehaltes mit 12 Zwischenphasen und mit einem symmetrischen Manteljochkern ausgeführt ist. Auf jedem Schenkel (Sch) sitzen, den Flüssen  $\varnothing_A, \varnothing_B, \varnothing_C$  entsprechend, die 3 Primär-

wicklungen, die zusammen ein 12-strängiges (1, 2 ...12) System von Zwischenphasen bilden.

Fig. 3 zeigt eine für eine höhere Zwischenphasenzahl besonders günstige Lösung als Drehfeldtransformator DFT, mit in Nuten N eines zylinderförmigen Blechpaketes eingelegten Wicklungen. Die Primärwicklung P mit den Eingängen A, B, C liegen in den Nuten, in einem äußeren Zylinderteil AJ, während die Sekundärwicklung mit den Ausführungen 1, 2,...11,12 sich in den Nuten im Bereich im inneren Zylinderteil JT befinden. Zur Verminderung des Streuflusses kann der äußere Zylinderteil AT vom inneren Zylinderteil JT, wie hier gezeigt, durch einen Luftspalt getrennt sein.

In Fig. 4 ist eine andere Lösung für einen Dreischenkelkerntransformator mit 12 Zwischenphasen gezeigt. Die Primärwicklungen ( $A_1$ ,  $A_2$ ), ( $B_1$ ,  $B_2$ ), ( $C_1$ ,  $C_2$ ) liegen je eine auf jedem Schenkel. Sechs Sekundärphasen (1, 7, 5, 11, 9, 3) werden durch 6 gleiche Wicklungen von denen je zwei auf einem Schenkel liegen gebildet. Die restlichen 6 Phasen (2, 2', ... 12, 12') sind als 12 untereinander gleiche Wicklungen ausgeführt, wobei je zwei Wicklungen auf verschiedenen Schenkeln liegen. Eine Schaltung der Sekundärwicklungen nach Fig. 5a mit den Bezeichnungen der Fig. 2, Fig. 3 u. Fig. 4, ergibt eine Sternschaltung mit den Spannungen nach dem in Fig. 5b ersichtlichen Zeigerdiagramm. Die Schaltung der oben erwähnten Sekundärwicklungen nach Fig. 6a ergibt eine Polygonschaltung mit Spannungen nach dem in Fig. 6b ersichtlichen Zeigerdiagramm.

Zur Grobsteuerung der Spannungsamplitude, zur Verbesserung des Verschiebefaktors, ohne zusätzliche Oberwellen der Spannungskurve und auch unter Last, werden zur Erhöhung der Spannung die Primäreinzelwicklungen jeder Phase in parallel geschaltet. In Fig. 7a sind die Einzelwicklungen  $A_1$ ,  $A_2$  mittels der Halbleiterschalter  $S_{A11}$  -  $S_{A12}$  und  $S_{A21}$  -  $S_{A22}$  parallel über ihre Stromschienen an die Klemmen A, X geschaltet. Zur Verminderung der Spannung werden die Einzelwicklungen in Reihe geschaltet. In Fig. 7b werden  $A_1$  und  $A_2$  über den Schalter  $SA_0$  in Reihe zu den Klemmen A, X geschaltet. Die Halbleiterschalter werden mit Dauerimpulsen oder mit dem Stromnulldurchgang synchronen Impulsen angesteuert und erlauben ein problemloses Umschalten auch unter Last.

Eine Feinstufensteuerung der Amplitude und der Phasenlage einer verketteten Ausgangsspannung, unter Last und ohne zusätzliche Oberwellen, erhält man durch das Löschen eines stromführenden Schalters der Sekundärwicklungen und durch das Einschalten eines anderen. Nach Fig. 1, Fig. 5 und Fig. 6 würde die verkettete Spannung  $U_{ab}$  mit  $S_{a1}$  und  $S_{b2}$  angesteuert, eine Spannung mit Größe und Phasenlage nach Fig. 8 und Fig. 9 von  $U_{ab} = U_{2.1}$  ergeben. Durch Umschalten der Reihe nach auf die Schalter  $S_{b3}$ ,  $S_{b4}$ ,  $S_{b5}$  würde die verkettete Spannung nach Fig. 8  $U_{ab} = U_{3.1}$ ,  $U_{ab} = U_{4.1}$ ,  $U_{ab} = U_{5.1}$ , werden. Die Spannung verändert ihren Wert in kleinen Stufen und verändert ihre Phasenlage mit den Winkeln  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Eine kontinuierliche Steuerung der Amplitude und der Phasenlage einer verketteten Ausgangsspannung unter Last und mit kleinem Oberwellengehalt, sowie mit gutem Verschiebefaktor, wird durch eine zur Primärfrequenz synchronen Umschaltung mit einstellbarer Schaltdauer eines stromführenden Schalters auf einem nach Phasenlage nächstliegenden Halbleiterschalter erreicht. Mit den Bezeichnungen in Fig. 1, Fig. 5 und Fig. 6 folgt, daß bei Ansteuerung der Schalter  $S_{a1}$  und  $S_{b3}$  oder  $S_{b4}$  die verkettete Spannung in Fig. 8 und Fig. 9 gleich  $U_{ab} = U_{3.1}$  oder  $U_{ab} = U_{4.1}$  würde. Durch synchrone Umschaltung erhält man einen Mittelwert zwischen  $U_{3.1}$  und  $U_{4.1}$ , bzw. einen Zwischenwert von  $T$ , abhängig von der relativen Einschaltdauer der beiden Halbleiterschalter.

Zur Amplitudensteuerung unter der Beibehaltung der Phasenlage werden beide Halbleiterschalter auf zwei andere von dieser Phasenlage entgegengesetzt gleichweit entfernte Halbleiterschalter umgeschaltet. Bei Ansteuerung von  $S_{a10}$  und  $S_{a9}$  erhält man gemäß Fig. 8  $U_{ab} = U_{10.9}$ . Durch Umschalten auf  $S_{a11}$  bzw.  $S_{a8}$ , oder auf  $S_{a7}$  bzw.  $S_{a12}$  erhält man nach Fig. 8 die Spannungen  $U_{ab} = U_{11.8}$  bzw.  $U_{ab} = U_{12.7}$ , die alle andere Werte aber gleiche Phasenlage haben.

Eine Phasenlagesteuerung unter Beibehaltung der Amplitude der verketteten Ausgangsspannung wird ähnlicherweise erreicht, durch Umschalten der beiden stromführenden Schalter auf zwei der gewünschten Phasenlage entsprechenden im selben Sinne gleich weit entfernte Halbleiterschalter. Beim Ansteuern der Schalter  $S_{a12}$  und  $S_{b9}$  und Umschalten auf  $S_{a11}$  bzw.  $S_{b8}$  oder  $S_{a10}$  bzw.  $S_{b7}$  erhält man

nach Fig. 9 die gleichen Spannungen  $U_{ab} = U_{12.9} = U_{11.8} = U_{10.7}$ , die aber um die Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$  verschoben sind. Ebenso erhält man für die Phasenspannung eine Phasenlagesteuerung unter Beibehaltung der Amplitude durch das Umschalten des stromführenden Schalters der Sekundärwicklung auf einen in der gewünschten Phasenlage liegenden Schalter. So wird nach Fig. 1 die Spannung  $U_{ko}$  bei Ansteuern der Schalter  $S_{k4}$ ,  $S_{k5}$ ,  $S_{k6}$  nach Fig. 9 gleich mit  $U_{a.o} = U_{4.o} = U_{5.o} = U_{6.o}$  aber mit den Winkeln  $\alpha'$ ,  $\beta'$ , gegen  $U_{4.o}$  verschoben.

- Gleichzeitig kann man an den Sekundärklemmen so viele phasenverschobene Spannungen  $U_{ko}$  erzielen, wie viele Stromschienen  $S_{sk}$  vorgesehen sind. Daraus folgt, daß die Anzahl der Ausgangsphasen  $m_2$  gleich ist mit der Anzahl  $p$  der sekundärseitig ausgeführten Stromschienen, d. h.  $m_2 = p$ . Da eine Phasenlagensteuerung unter Beibehaltung der Amplitude möglich ist, erfolgt, daß eine stetige, gleichmäßige Veränderung der Phasenlage eine Steuerung der Ausgangsfrequenz bewirkt.

Zur Steuerung der Frequenz unter Beibehaltung der Amplitude der Phasenspannung wird der jeweils stromführende Schalter zur Primärfrequenz asynchron auf einen jeweils im gleichen Sinne liegenden Halbleiterschalter umgeschaltet.

- Wenn nach Fig. 1 und Fig. 10 zum Zeitpunkt  $t = 0$  der Schalter  $S_{1k}$  leitend ist, so liegt an der Phase  $k$  die Spannung  $U_{ko} = U_{10}$  an, deren Momentanwert  $u_{ko} = u_{10}$  sich als Projektion des mit  $f_1$  umlaufenden Zeigerdiagramms auf die Zeitachse  $t$  ergibt. Wenn nun die Umschaltfrequenz gleich Null ist ( $f_s = 0$ ), so bleibt immer nur ein Schalter -  $S_{1k}$  - an die Stromschiene und an den Ausgang geschaltet. Hier tritt also die Spannung  $U_{1k} = U_{10}$  auf, mit der Frequenz  $f_2 = f_1 - f_s = f_1$ . Bei einer Umschaltfrequenz gleich der Netzfrequenz  $f_s = f_1$  im Gegensinn der Phasenfolge, wird in Fig. 10 nach  $t = 1/12 f_s$  vom Schalter  $S_{1k}$  auf  $S_{12k}$  umgeschaltet. Inzwischen hat der Spannungszeiger 12 sich mit  $f_1$  im Gegensinn um den gleichen Winkel gedreht und die Phasenlage 1 angenommen. So erhält die Klemmenspannung  $U_{ko}$  über die Stromschiene  $S_{sk}$  im Mittel immer den selben Momentanwert. Die Ausgangsfrequenz  $f_2 = f_1 - f_s = f_1 - f_1 = 0$  entspricht einem Gleichstromsystem.

- Bei einer asynchronen Umschaltfrequenz, z. B. für  $f_s = f_1/3$  wird nach  $t = 1/12 f_s$  vom Schalter  $S_{1k}$  auf  $S_{12k}$  umgeschaltet. Inzwischen hat der Spannungszeiger 12 sich im Gegensinn um einen 3-fach größeren Winkel



- gedreht und die Phasenlage 3 angenommen. Bei  $f_s = 0$  hätte sich die Spannung  $U_{1k} = U_{1.0}$  mit  $f_1$  in die Lage 4 gedreht, während sie nun bei  $f_s = f_1/3$  die Lage 3 erreicht, sich also um einen  $2/3$  kleineren Winkel gedreht hat. Folglich ergibt sich eine Ausgangsfrequenz von
- 5  $f_2 = f_1 - f_s = f_1 - f_1/3 = 2f_1/3$ . So erhält man an den Ausgangsklemmen eine Phasenspannung  $U_{ko}$  mit annähernd gleicher Amplitude, aber mit einer über die Umschaltfrequenz  $f_s$  steuerbare Ausgangsfrequenz  $f_2 = f_1 - f_s$  (Fig. 11). Eine Verschiebung der Phasenlage der Schaltimpulse bewirkt eine entsprechende Phasenverschiebung der frequenz-
- 10 geregelten Ausgangsspannung.
- Bei Frequenzsteuerung unter Beibehaltung der Amplitude einer verketteten Ausgangsspannung werden die beiden zugeordneten stromführenden Halbleiterschalter, bezüglich der Primärfrequenz asynchron auf jeweils zwei im gleichen Sinn liegende Halbleiterschalter umge-
- 15 schaltet. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  ist z. B. die Zwischenphase 1 mittels des Halbleiterschalters  $S_{1k}$  an die Schiene  $S_{sk}$  (Fig. 10) und die Zwischenphase 7 mittels dem Halbleiterschalter  $S_{7.1}$  an die Stromschiene  $S_{s1}$  angeschlossen. Diese Schalter werden mit der Umschaltfrequenz  $f$  auf die Schalterpaare  $S_{12k} - S_{61}$ ;  $S_{11k} - S_{51}$ ; ... umgeschaltet.
- 20 In derselben Weise wie bei der Phasenspannung  $U_{ko}$  erhält man so eine verkettete Spannung mit annähernd gleicher Amplitude, aber mit einer über die Umschaltfrequenz  $f_s$  steuerbaren Ausgangsfrequenz  $f_2 = f_1 - f_s$ .
- Bei Frequenzsteuerung wird eine gleichzeitige Grobsteuerung der
- 25 Spannungsamplitude, ohne zusätzliche Oberwellen und mit gutem Verschiebefaktor durch die Reihen- und Parallelschaltung der Einzelprimärwicklungen (Fig. 7) erreicht.
- Eine gleichzeitige Feinstufensteuerung der Spannungsamplitude, ohne zusätzliche Oberwellen und mit gutem Verschiebefaktor wird durch die
- 30 Veränderung des Phasenabstandes zwischen den beiden zugehörigen stromführenden Schaltern erreicht. Wenn die verkettete Klemmenspannung  $U_{k1}$  den Wert  $U_{k1} = U_{1.7}$  in Fig. 10 hatte, so wird durch die Veränderung des Phasenabstandes (Fig. 12) von 1-7 auf 1-10 die Spannung auf den Wert  $U_{k1} = U_{1.10}$  herabgesetzt, wobei die frequenz-
- 35 geregelte Klemmenspannung, so wie schon beschrieben, mit  $f_2 = f_1 - f_s$  die Phasenlagen 1-10, 2-11, 3-12, ... durchläuft.

Eine kontinuierliche Steuerung der Spannungsamplitude mit kleinem Oberwellengehalt und gutem Verschiebefaktor wird durch das Überspringen in jeder Halbperiode von einem oder mehreren, maximal spannungsführenden Schaltern erreicht.

- 5 Da jeder Teil vor und nach dem Überspringen einen symmetrischen Sinusbogen bildet, ergibt sich ohne das fehlende Mittelstück und durch das zeitliche Zusammenrücken eine aus 2 symmetrischen Sinusbögen gebildete Spannung mit verkleinerter Amplitude. Eine annähernd stetige Veränderung wird durch das Steuern des Intervalls, in der
- 10 ein oder mehrere Schalter übersprungen werden, bewirkt.

## Patentansprüche:

1. Stelltransformator (ST) mit elektronischer Steuerung und einer Mehrzahl von Wicklungen, die jeweils über Halbleiterschalter ( $S_{1a} \dots S_{np}$ ) gemeinsame Stromschienen ( $S_{sa} \dots S_{sp}$ ) angeschlossen sind, gekennzeichnet durch die folgenden Merkmale:
- 5 a) der Transformatorteil (T) ist zur Erzeugung von Zwischenphasen durch Vervielfältigung der Eingangsphasenzahl ( $m_1$ ) geeignet ausgebildet;
- 10 b) es ist eine der Anzahl der Ausgangsphasen ( $m_2$ ) gleiche Anzahl von Stromschienen ( $S_{sa} \dots S_{sp}$ ) vorgesehen;
- 15 c) die genannte Mehrzahl von Wicklungen bildet den Sekundärkreis des Transformatorteiles (T) und entsprechend der Ausgangsphasenzahl ( $m_2$ ) sind ein- oder mehrere Stromschienen ( $S_{sa} \dots S_{sp}$ ), jede über Halbleiterschalter ( $S_{1a} \dots S_{np}$ ), mit jeder Sekundärwicklung verbunden;
- 20 d) die Halbleiterschalter des Sekundärkreises ( $S_{1a} \dots S_{np}$ ) und die Stromschienen ( $S_{sa} \dots S_{sp}$ ) sind in einem Gehäuse (G) mit dem Transformatorteil (T) baulich vereinigt, derart, daß als Starkstromanschlüsse nur die primären (A,B,C) und sekundären (a,b...p) Hauptanschlüsse durch das Gehäuse (G) nach außen geführt sind.
- 25 e) die Steuerung arbeitet sowohl mit gegenüber der Netzfrequenz synchronisierten und verschiebbaren Steuerimpulsen oder mit Dauerimpulsen zur Veränderung der Spannungsamplitude und -phasenlage, als auch mit gegenüber der Netzfrequenz asynchronen Steuerimpulsen zur Veränderung der Ausgangsfrequenz bei konstanter oder veränderbarer Spannungsamplitude und -phasenlage.
- 30

2. Stelltransformator nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Transformatorteil (T) zur Verminderung des Oberwellengehalts als 12-Phasentransformator mit drei Primärwicklungen ( $A_1, A_2 \dots C_1, C_2$ ) und zwölf Sekundärwicklungen mit  
5 einem symmetrischen Manteljochkern (MJK) ausgeführt ist (Fig.2).
3. Stelltransformator nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
10 daß der Manteljochkern (MJK) drei sternförmig symmetrische zusammenlaufende Schenkel (Sch) umfaßt, welche durch drei gleiche Joche (J) verbunden sind, wobei die drei Primärwicklungen ( $A_1, A_2 \dots C_1, C_2$ ) auf je einem Schenkel und je zwei Sekundärwicklungen auf je einem Schenkel (Sch) und je einem Joch (J)  
15 angeordnet sind.
4. Stelltransformator nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Transformatorteil als Drehfeldtransformator (DFT) mit  
20 in Nuten (N) eines zylinderförmigen Blechpaketes eingelegten Wicklungen ausgebildet ist (Fig. 3).
5. Stelltransformator nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
25 daß das Blechpaket aus je einem feststehenden äußeren (AT) und inneren Zylinderteil (JT) zusammengesetzt ist, welche durch einen geringen Luftspalt ( $\delta$ ) getrennt sind, wobei in demselben Zylinderteil entweder alle Primär- (P) oder alle Sekundär- (S) wicklungen untergebracht sind.
- 30 6. Stelltransformator nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Transformatorteil (T) als Dreischenkel-Kerntransformator ausgebildet ist, mit einer 12-phasigen Sekundärwicklung, wovon  
35 sechs Phasen durch sechs untereinander gleiche Wicklungen gebildet sind, von denen je zwei auf einem Schenkel liegen, die restlichen sechs Phasen durch zwölf untereinander gleiche Wicklungen gebildet sind, von denen je zwei auf verschiedenen Schenkeln liegen und in Reihe geschaltet sind (Fig. 4).

7. Stelltransformator nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Halbleiterschalter ( $S_{1a} \dots S_{np}; S_{A11} \dots S_{C22}$ ), einzeln  
ansteuerbare Triacs, antiparallele Thyristoren oder antipa-  
5 rallele Leistungstransistoren sind, die entsprechend natür-  
lich- oder zwangskommutiert werden.
8. Stelltransformator nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
10 daß die Primärwicklung jeder Phase aus einer  $2^n$ -fachen Anzahl  
von Einzelwicklungen ( $A_1, A_2 \dots C_1, C_2$ ) besteht, welche durch  
Halbleiterschalter  $S_{A11} \dots S_{C22}$  an gemeinsame Stromschienen  
( $S_{SA} \dots S_{SC}$ ) angeschlossen und deren Anfang jeweils mit dem  
Ende der folgenden Einzelwicklung, verbunden sind. (Fig. 7)
- 15 9. Stelltransformator nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zur Grobsteuerung der Spannungsamplitude, bei gutem Verschie-  
befaktor, ohne zusätzliche Oberwellen der Spannungskurve und  
20 auch unter Last, die Einzelwicklungen ( $A_1 \dots C_2$ ) jeder Primär-  
phase mittels Halbleiterschalter ( $S_{A11} \dots S_{C22}$ ) über Dauerimpulse  
oder mit dem Nulldurchgang des Primärstromes synchronen Impul-  
sen in Reihe oder parallel schaltbar sind (Fig. 7).
- 25 10. Stelltransformator nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zur Feinstufensteuerung der Amplitude und der Phasenlage  
einer verketteten Ausgangsspannung, unter Last und ohne zu-  
sätzliche Oberwellen einer der stromführenden Schalter der  
30 Sekundärwicklung gelöscht und ein anderer leitend wird (Fig. 8).
11. Stelltransformator nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zur kontinuierlichen Steuerung der Amplitude und der Phasen-  
35 lage einer verketteten Ausgangsspannung, unter Last und mit  
kleinem Oberwellengehalt, sowie mit gutem Verschiebefaktor,

einer der stromführenden Halbleiterschalter durch zur Primärfrequenz synchrone Ansteuerung bei einstellbarer Einschalt-dauer mit einem nach Phasenlage nächstliegendem Halbleiterschalter ständig wechselt (Fig.8).

5

12. Stelltransformator nach den Ansprüchen 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Amplitudensteuerung unter Beibehaltung der Phasenlage beide stromführende Halbleiterschalter auf zwei andere von dieser Phasenlage entgegengesetzt gleich weit entfernte Halbleiterschalter umgeschaltet werden (Fig. 8).

10

13. Stelltransformator nach den Ansprüchen 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Phasenlagensteuerung unter Beibehaltung der Amplituden der verketteten Ausgangsspannung beide stromführende Halbleiterschalter auf zwei der gewünschten Phasenlage entsprechenden, von dieser Phasenlage im selben Sinne gleich weit entfernte Halbleiterschalter umgeschaltet werden (Fig.9).

15

20

14. Stelltransformator nach den Ansprüchen 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Phasenlagensteuerung unter Beibehaltung der Amplitude der Phasenspannung gegenüber dem Sternpunkt der jeweils stromführende Schalter der Sekundärwicklung gelöscht und der in der gewünschten Phasenlage liegende Schalter leitend wird (Fig. 9).

25

15. Stelltransformator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Steuerung der Frequenz unter Beibehaltung der Amplitude der Phasenspannung, der stromführende Schalter asynchron, bezüglich der Primärfrequenz auf jeweils im gleichen Sinne liegende Halbleiterschalter umgeschaltet wird (Fig. 10).

30

16. Stelltransformator nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zur Steuerung der Frequenz unter Beibehaltung der Amplitude der verketteten Spannung beide stromführende Halbleiterschalter asynchron, bezüglich der Primärfrequenz auf jeweils im gleichen Sinn liegenden Halbleiterschalter umgeschaltet werden (Fig. 10).
17. Stelltransformator nach Anspruch 16,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zusätzlich, zur Feinstufensteuerung der Spannungsamplitude, ohne zusätzliche Oberwellen und ohne Verminderung des Verschiebefaktors, der Phasenabstand der beiden stromführenden Schalter verändert wird (Fig. 12).
18. Stelltransformator nach Anspruch 15 oder 16,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zusätzlich, zur kontinuierlichen Steuerung der Spannungsamplitude mit kleinem Oberwellengehalt und mit gutem Verschiebefaktor, in einer jeden Halbperiode der Ausgangsfrequenz einer und mehrere maximal-spannungsführende Schalter in einem bestimmaren Intervall übersprungen werden.

ST

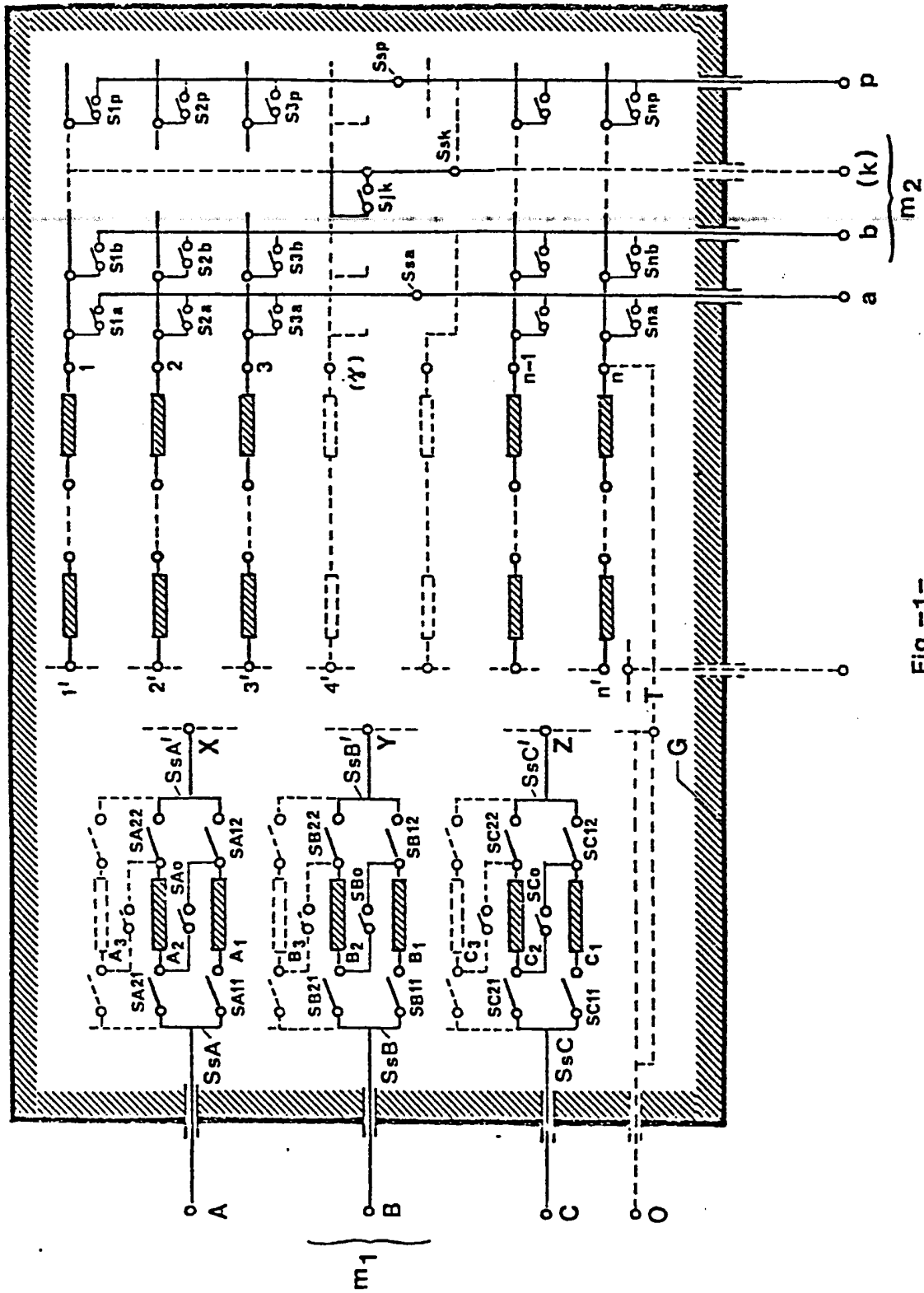


Fig.-1-



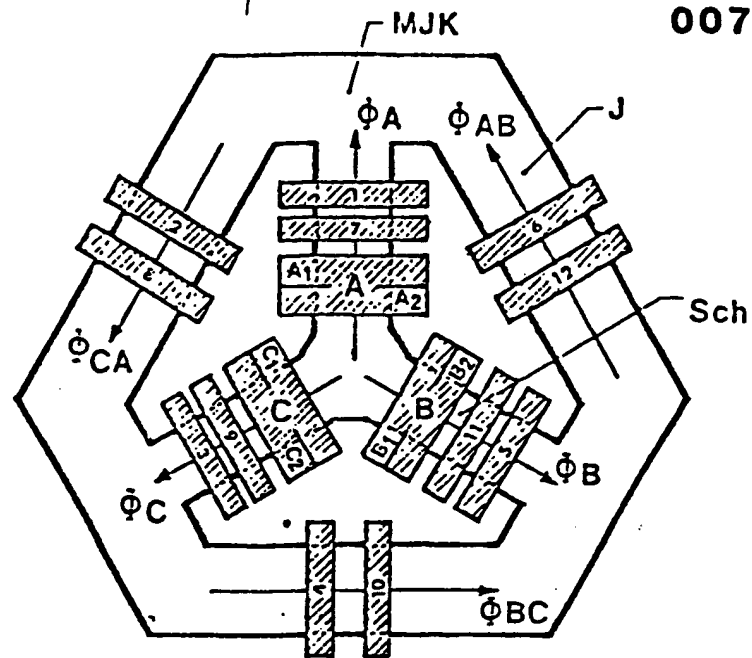


Fig.-2-

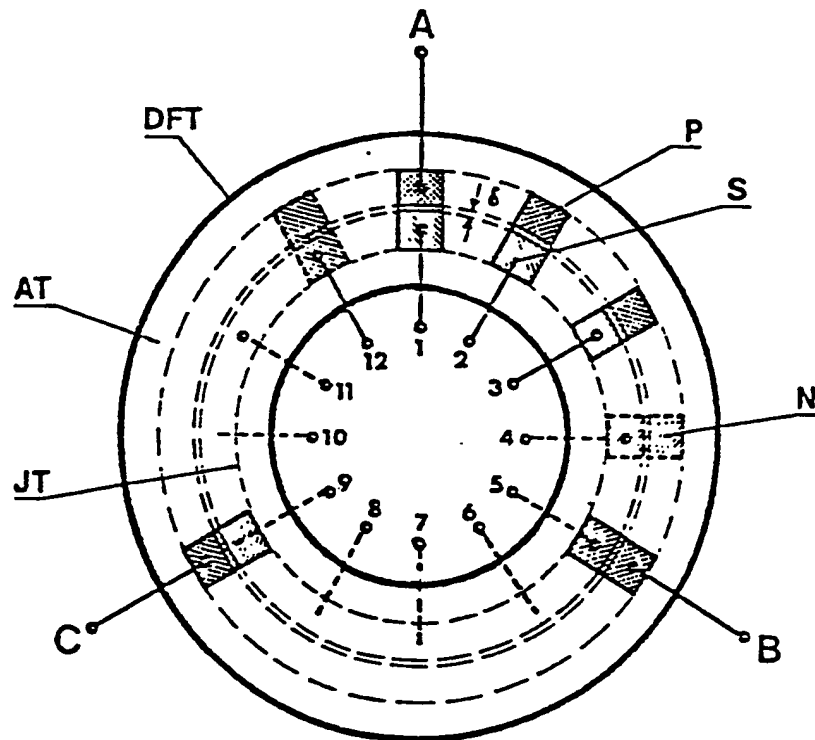


Fig.-3-

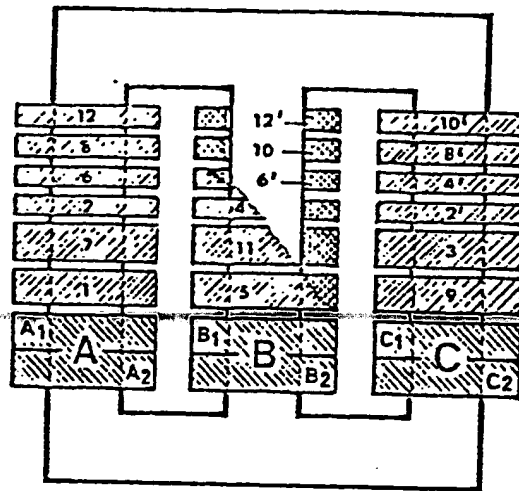


Fig.-4-

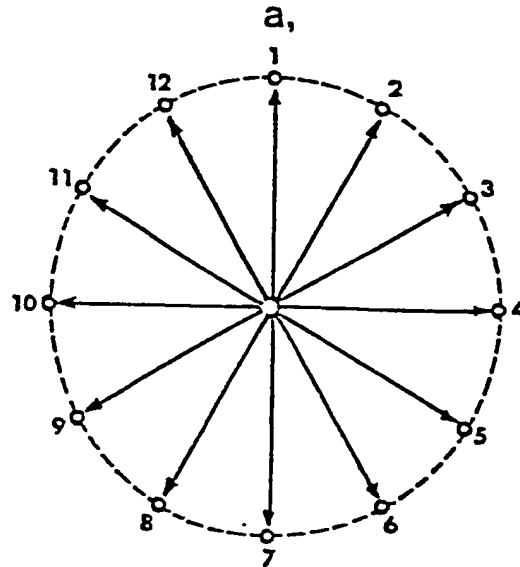
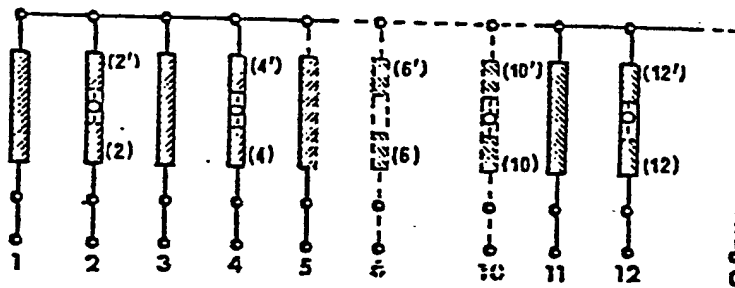
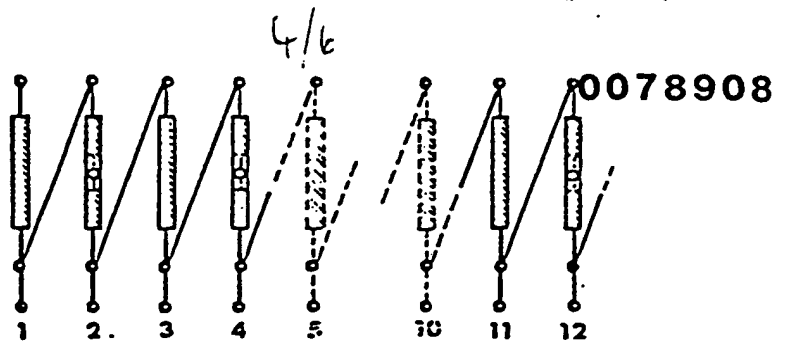
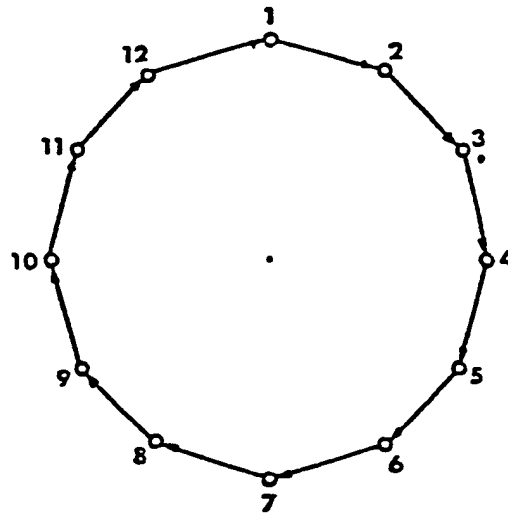


Fig.-5-

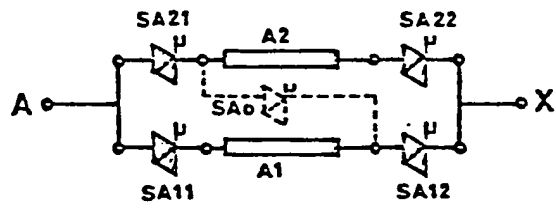


a,

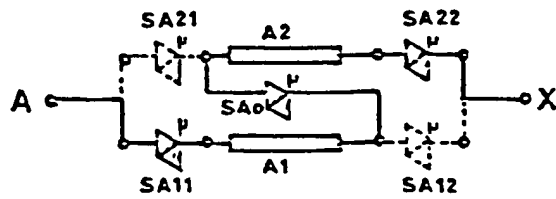


b,

Fig.-6-



a,



b,

Fig.-7-

5/6

0078908

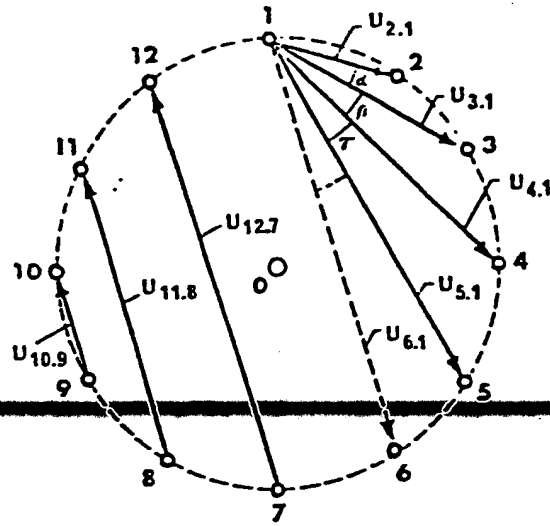


Fig.-8-

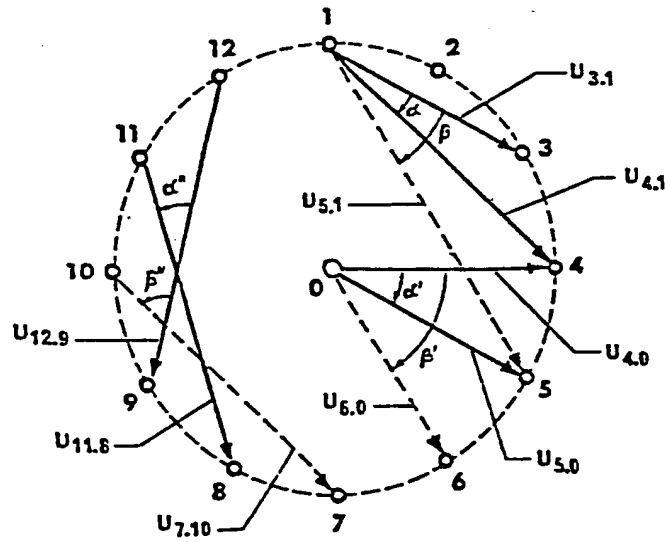


Fig.-9-



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**